

L'astronomie dans le monde

Mars

La reconstruction 3D de la surface de Mars au moyen du radar du MRO (Mars Reconnaissance Orbiter) montre que les chenaux creusés par des inondations catastrophiques au cours des dernières centaines de millions d'années sont beaucoup plus profonds qu'on ne le croyait. Ces inondations étaient probablement dues à la rupture de réservoirs souterrains par suite de l'activité tectonique ou volcanique de la Planète Rouge.

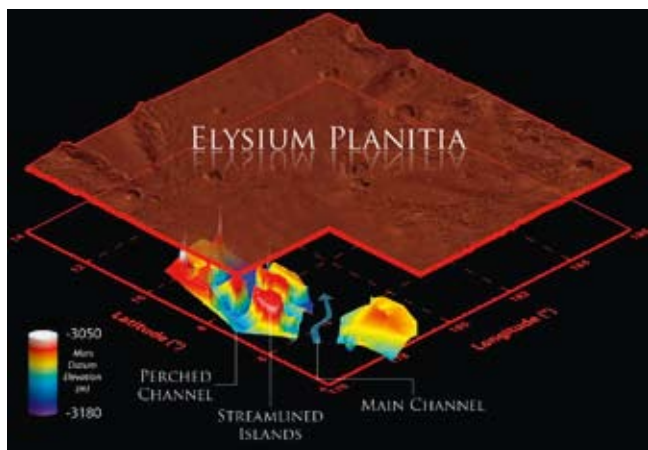
Les canaux observés sont situés dans Elysium Planitia, de vastes plaines équatoriales marquant la plus jeune zone volcanique active de la Planète Rouge. Une activité volcanique prolongée au cours des dernières

centaines de millions d'années a recouvert de lave la plus grande partie de cette région ensevelissant ainsi les traces géologiques plus anciennes, y compris la quasi totalité des 1 000 kilomètres de la vallée Marte Vallis, dont sa source. Révéler ces structures souterraines a été possible grâce au radar SHARAD (Shallow Radar) du MRO.

La morphologie de Marte Vallis ressemble fort à celle d'autres bassins martiens, en particulier ceux de Chryse. On pense que les vallées de Chryse se sont formées lors d'écoulements catastrophiques. Pour la plupart des scientifiques il s'agissait d'eau souterraine, mais certains favorisent plutôt de la lave. En comparaison, Marte Vallis reste plus mystérieuse.

Schéma de la région d'Elysium Planitia où le radar SHARAD (Shallow Radar) du MRO a détecté des chenaux d'inondation enterrés sous des écoulements de lave. De multiples canyons convergent vers la vallée plus large et profonde de Marte Vallis.

Dans cette illustration les élévations sont exagérées d'un facteur cent. L'échelle de couleur montre les élévations relatives. (NASA/JPL-Caltech/Univ. Sapienza Rome/Smithsonian Institution/USGS)

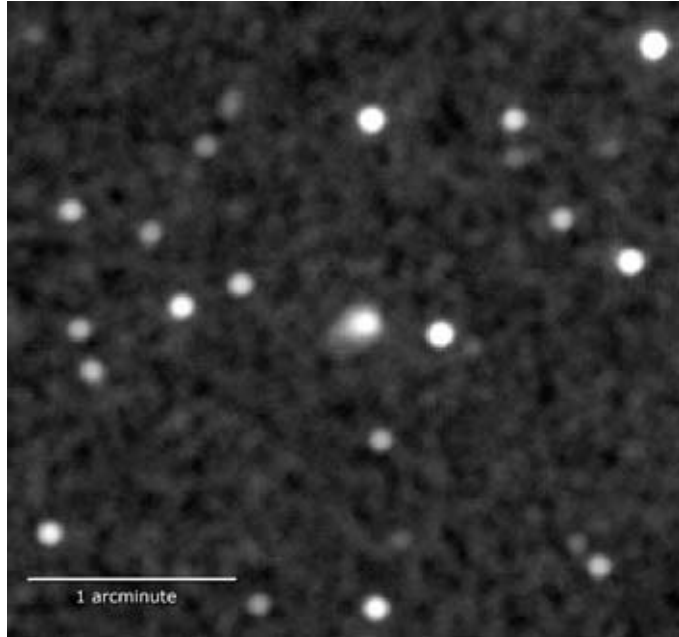


ISON

La comète du siècle, C/2012 S1 (ISON), semble s'essouffler. Fera-t-elle un show mémorable ? Rien n'est moins sûr.

La sonde Swift de la NASA a permis d'évaluer la taille du noyau de la comète en mesurant son taux de dégagement de gaz et de poussières. Avec un diamètre d'environ 5 km, il s'agirait d'une comète assez typique, que ne distinguerait que sa trajectoire frôlant le Soleil.

Selon l'expert John Bortle, ISON n'évolue pas tout à fait de la façon espérée. Plutôt que d'augmenter d'éclat lentement et sûrement, elle est restée durant deux mois aux alentours de la 16^e magnitude. Après avoir montré une coma plus concentrée, la comète a développé une queue courte et brillante, tandis que la coma faiblissait, devenait plus floue et plus petite – autant de signes qui n'augurent rien de bon. ISON pourrait ajouter son nom à la liste des « flops » cométaires, aux côtés de Kohoutek.



La comète ISON vue par l'observatoire spatial Swift le 30 janvier alors qu'elle était non loin de Castor dans les Gémeaux. Cette image a demandé plus de cinq minutes de pose. (NASA/Swift/D. Bodewits, UMCP)

Un troyen d'Uranus

Un premier astéroïde « troyen » (partageant l'orbite) d'Uranus a été identifié : 2011 QF99. On en connaît pour la Terre, Mars, Jupiter et Neptune, mais l'influence de Jupiter les déstabilise pour Saturne et Neptune. Il est donc probable que ce troyen n'est que temporaire, astronomiquement parlant.

Titan

La sonde Cassini a détecté une luminescence mystérieuse en infrarouge dans la haute atmosphère de Titan. Il pourrait s'agir de la fluorescence de composés aromatiques poly- ou hétérocycliques.

Europe

Les régions équatoriales du satellite galiléen Europe pourraient être peuplées de « pénitents », ces formations acérées provenant de l'action prolongée du Soleil sur la glace.



Planck révèle un Univers presque parfait

Basé sur des communiqués ESA et NASA

Lorsqu'il n'avait que 380 000 ans, l'Univers était rempli d'un magma brûlant de protons, d'électrons et de photons s'entremêlant à quelque 3 000 K. L'interaction entre protons et électrons qui a donné naissance aux atomes d'hydrogène a ensuite libéré la lumière. À la faveur de l'expansion de l'Univers, cette lumière a été étirée jusqu'à atteindre aujourd'hui des longueurs d'ondes hyperfréquences qui équivalent à une température de juste 2,7 degrés au-dessus du zéro absolu.

Ce rayonnement de fond cosmologique hyperfréquence – CMB, Cosmic Microwave Background – présente d'infimes fluctuations de température qui correspondent à des régions de densité légèrement différente aux époques proches de l'origine et portent en elles le germe de toutes les structures futures, ces étoiles et galaxies que nous connaissons aujourd'hui.

Selon le modèle cosmologique standard, ces fluctuations se sont produites immédiatement après le Big Bang et ont été étirées à l'extrême au cours d'une brève période d'expansion accélérée dite inflation.

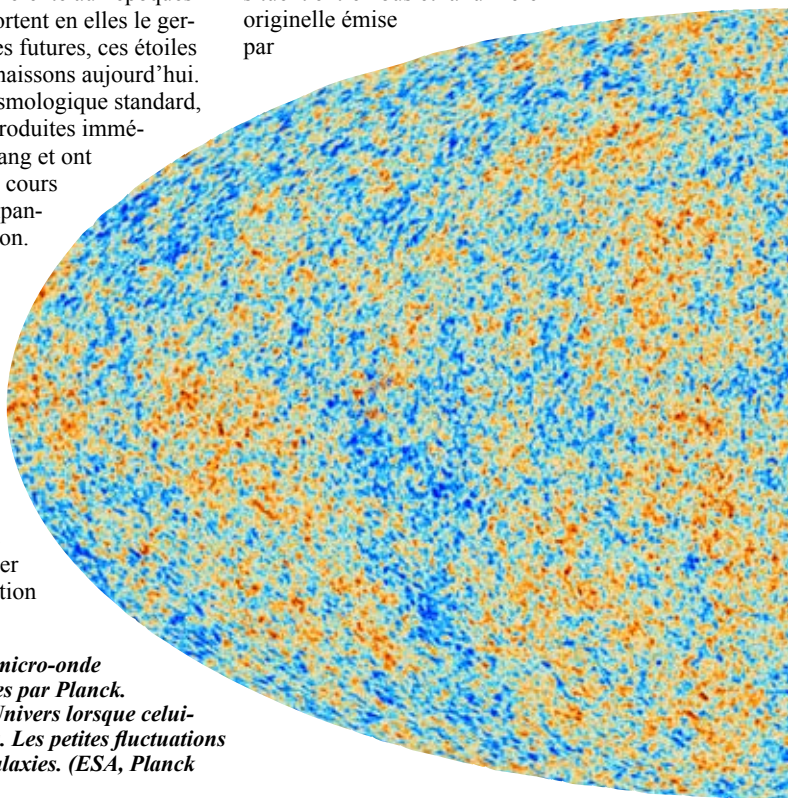
Planck a été conçu pour cartographier ces fluctuations sur l'intégralité du ciel avec une résolution et une sensibilité encore jamais atteintes. En analysant la nature et la répartition des germes de structures sur l'image du CMB obtenue grâce à Planck, on peut déterminer la composition et l'évolution

de l'Univers depuis sa naissance jusqu'à maintenant.

De façon générale, les informations extraites de la nouvelle carte de Planck basée sur les 15 premiers mois de fonctionnement du satellite confirment de façon éclatante et avec une précision inégalée le modèle cosmologique standard et constituent une nouvelle référence pour l'inventaire du contenu de l'Univers.

Mais la carte de Planck est si précise qu'elle fait également apparaître certaines caractéristiques énigmatiques qui ne pourront être expliquées que par de nouvelles avancées théoriques.

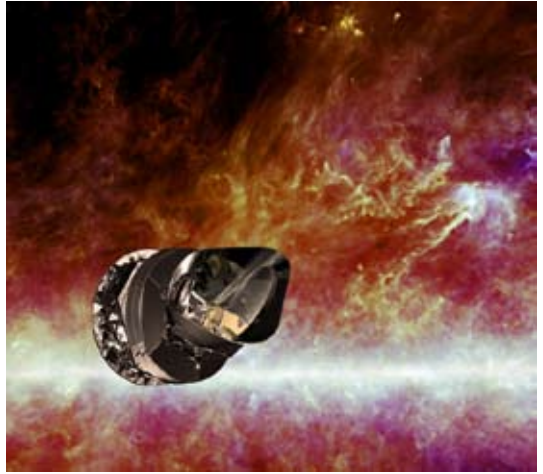
Depuis la diffusion en 2010 du premier relevé de l'ensemble du ciel acquis par Planck, les astronomes ont soigneusement extrait et analysé toutes les émissions lumineuses qui se situent entre nous et la lumière originelle émise par



Les anisotropies du fond micro-onde cosmique (CMB) observées par Planck. C'est un instantané de l'Univers lorsque celui-ci n'avait que 380 000 ans. Les petites fluctuations grandiront en étoiles et galaxies. (ESA, Planck Collaboration)

l'Univers, ce qui leur a permis de faire apparaître le rayonnement de fond cosmologique hyperfréquence avec une précision encore jamais atteinte. L'une des constatations les plus surprenantes est que, sur de grandes échelles angulaires, les fluctuations des températures du CMB ne correspondent pas à celles prévues par le modèle standard – leur signal n'est pas aussi fort que le laisserait prévoir la structure à plus petite échelle.

Une autre surprise réside dans l'asymétrie entre les températures moyennes des hémisphères opposés du ciel, qui est contraire aux prévisions du modèle standard selon lequel l'Univers devrait présenter à peu près le même aspect quelle que soit la direction des observations. En outre, la tache froide repérée sur une partie



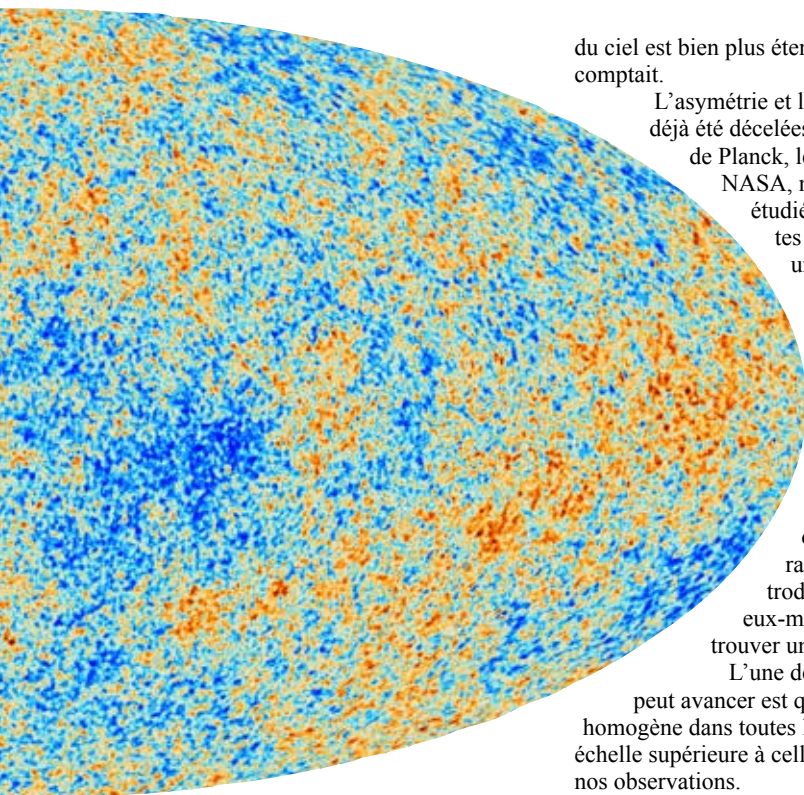
Planck, vue d'artiste (ESA, C. Carreau)

du ciel est bien plus étendue qu'on ne l'es-comptait.

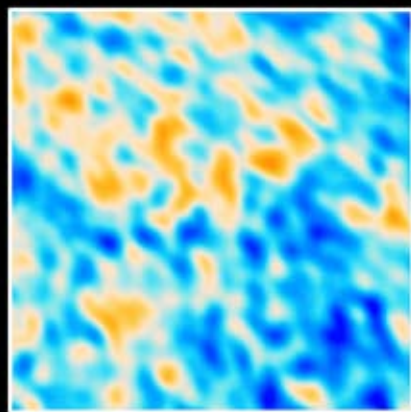
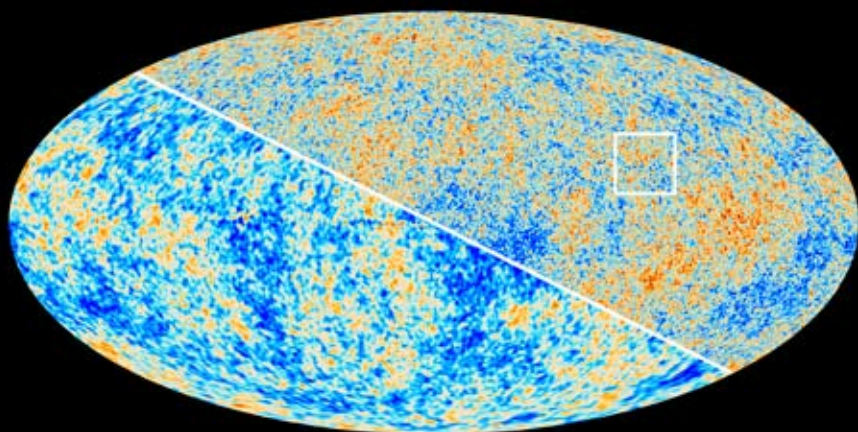
L'asymétrie et la tache froide avaient déjà été décelées par le prédécesseur de Planck, le satellite WMAP de la NASA, mais elles ont été peu étudiées, certains spécialistes doutant qu'elles aient une origine cosmique.

La détection de ces anomalies par Planck est suffisamment significative pour écarter tous les doutes qui auraient pu subsister quant à leur réalité. Il est désormais impossible d'avancer qu'il pourrait s'agir d'un biais introduit par les instruments eux-mêmes et il faut leur trouver une explication crédible.

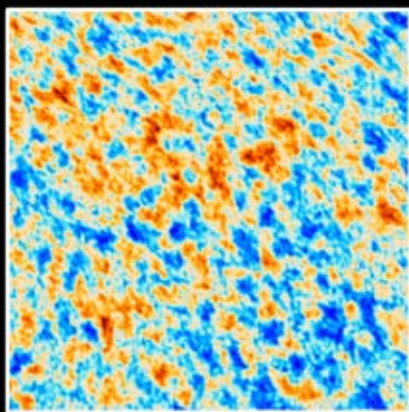
L'une des hypothèses que l'on peut avancer est que l'Univers n'est pas homogène dans toutes les directions à une échelle supérieure à celle sur laquelle portent nos observations.



The Cosmic Microwave Background as seen by Planck and WMAP



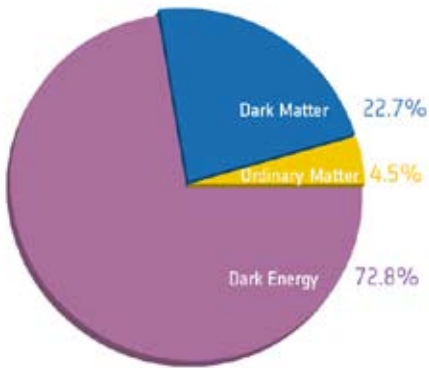
WMAP



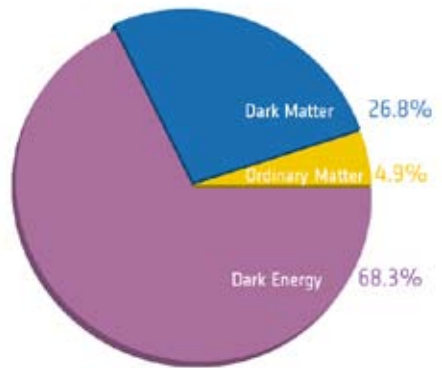
Planck

Les fluctuations du CMB vues par Planck (en haut, à droite) et par son prédécesseur – et précurseur – de la NASA, WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Un petit carré a été agrandi pour montrer plus de détails. Avec sa meilleure résolution et sa plus grande sensibilité dans neuf domaines de fréquence, Planck

permet aux cosmologistes de mettre à l'épreuve toute une série de modèles de l'origine et de l'évolution du cosmos. L'image de Planck n'est basée que sur 15 mois et demi de mission alors que celle de WMAP a demandé neuf années. (ESA, Planck Collaboration ; NASA/WMAP Science Team)

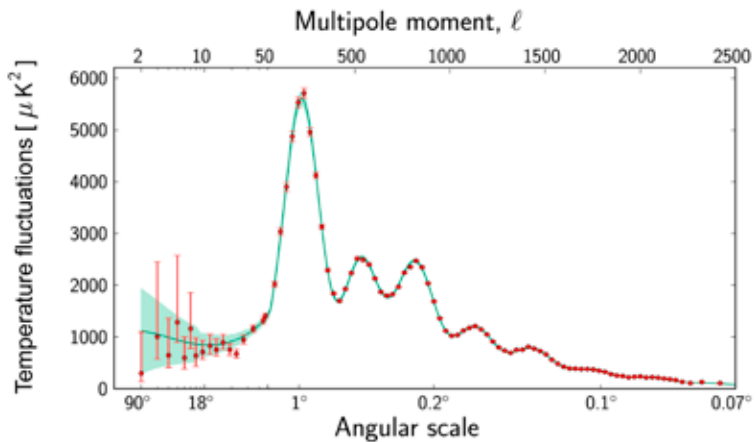


Before Planck

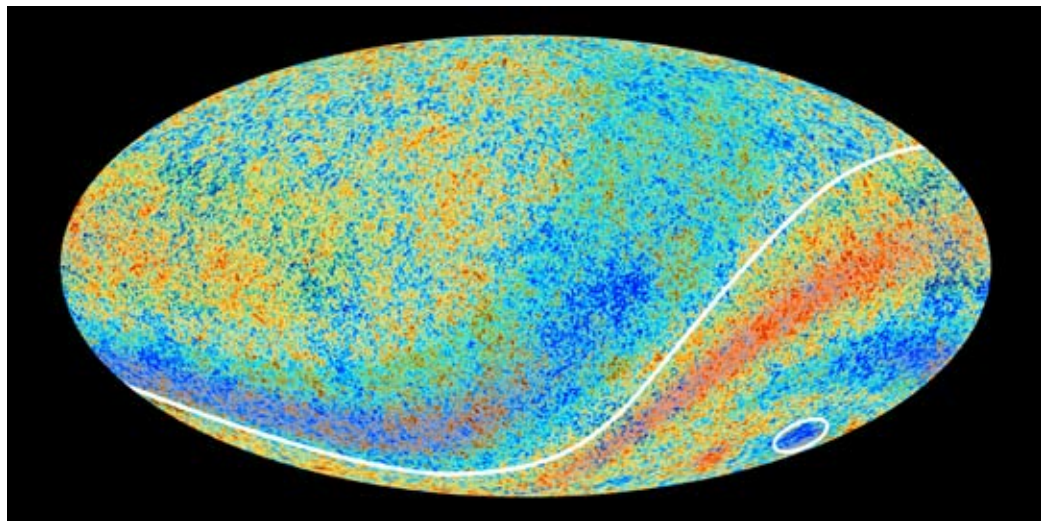


After Planck

Les camemberts donnant la composition de l'Univers telle qu'estimée avant et après Planck : matière noire, matière normale, énergie noire. (ESA)



Importance des fluctuations de température du CMB en fonction de l'échelle angulaire (ESA, Planck Collaboration)



Dans ce scénario, la lumière du rayonnement fossile pourrait avoir suivi à travers l'Univers un cheminement plus complexe qu'on ne le pensait jusqu'ici, ce qui aurait donné naissance à certaines des structures inhabituelles que nous observons aujourd'hui.

Le but ultime est de construire un nouveau modèle qui prédise ces anomalies et explique les liens qu'elles entretiennent. Mais on ne sait pas encore si cela est possible et quels seront les nouveaux postulats de la physique.

Ces anomalies mises à part, les données de Planck corroborent toutefois de façon spectaculaire l'hypothèse d'un modèle d'univers relativement simple, ce qui permet aux chercheurs d'extraire de ces données les valeurs les plus précises qui soient quant à ses composantes.

La matière ordinaire qui constitue les étoiles et les galaxies représente seulement 4,9 % de la masse/densité énergétique de l'Univers. La matière noire, dont l'existence n'a jusqu'ici été mise en évidence qu'indirectement à travers l'influence gravitationnelle qu'elle exerce, en constitue 26,8%, soit près d'un cinquième de plus que ce que l'on estimait précédemment.

Deux anomalies du CMB qui avaient été découvertes par WMAP ont été confirmées et précisées par Planck. L'une est l'asymétrie des températures dans deux hémisphères (séparés par la ligne incurvée), avec des valeurs un peu plus élevées en moyenne dans le sud. Cela va à l'encontre du modèle standard qui prévoit une belle isotropie. L'autre anomalie est la tache froide (entourée d'un cercle) qui est bien plus grande que ce que l'on attendrait statistiquement. Les zones anormales ont été hachurées en bleu et en rouge pour les faire apparaître plus distinctement. (ESA, Planck Collaboration)

Inversement, l'énergie noire, force mystérieuse que l'on croit être à l'origine de l'accélération de l'expansion de l'Univers, représente une proportion moindre que ce que l'on pensait auparavant.

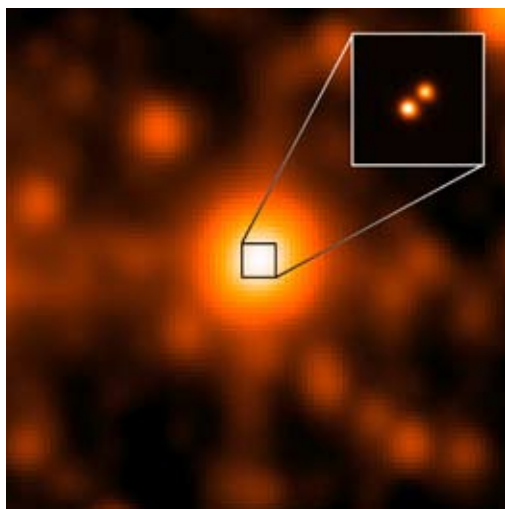
Enfin, les données de Planck ont conduit à réviser le taux d'expansion actuel de l'Univers, dit constante de Hubble, pour le fixer à 67,15 km par seconde et mégaparsec, ce qui est notablement inférieur à la valeur servant actuellement de référence en astronomie. Il en résulte que l'âge de l'Univers serait de 13,82 milliards d'années.

WISE J1049-5319

Les données obtenues par le télescope spatial infrarouge WISE ont permis la découverte d'un petit système stellaire à 6,5 années-lumière de nous. Seules alpha et Proxima Centauri ainsi que l'étoile de Barnard sont plus proches.

La proximité de cet astre avait été suggérée par son mouvement propre anormalement rapide. Des identifications sur des images obtenues par divers télescopes depuis 1978 ont confirmé ce mouvement et permis de mesurer la distance exacte par simple trigonométrie en dévoilant la parallaxe due au mouvement annuel de la Terre sur son orbite.

Le spectre de WISE J1049-5319 a pu être obtenu avec le télescope Gemini South au Cerro Pachón (Chili). Ces observations ont montré qu'il s'agit d'un astre très froid. L'optique adaptative a révélé qu'il s'agissait d'un couple de naines brunes.



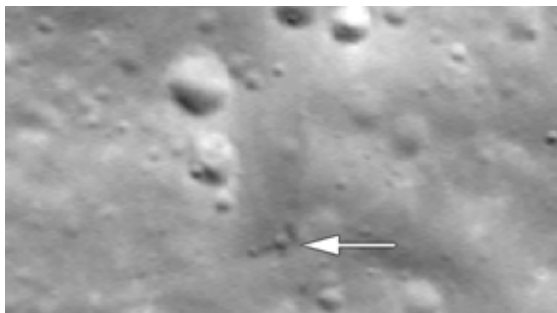
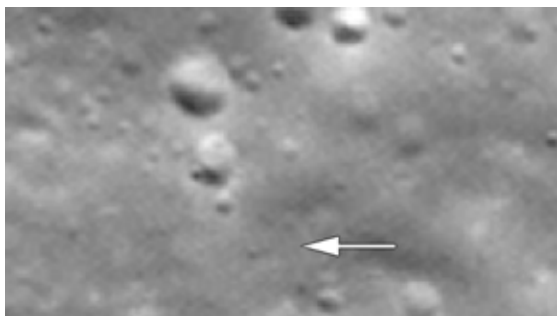
L'étoile WISE J104915.57-531906 est au centre de cette image prise par le télescope spatial WISE. Des images obtenues au sol par l'observatoire Gemini ont révélé qu'il s'agissait d'un système binaire. (NASA/JPL/Gemini Observatory/AURA/NSF)

GRAIL

L'orbiteur lunaire LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter) a pu prendre des images des petits cratères formés le 17 décembre lors de l'impact des sondes jumelles GRAIL (Gravity Recovery and Interior Laboratory). Il a également analysé les nuages de débris découvrant, comme lors de l'impact de LCROSS, des quantités significatives de mercure et d'hydrogène.

Les sondes ont heurté les flancs d'un massif montagneux anonyme, à des altitudes respectives de 700 et 1 000 mètres, à la vitesse de 6 100 km/h. Avec leur masse relativement réduite, elle ont créé des cratères de petite taille, de l'ordre de 5 mètres.

Images prises par le LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter) du site de l'impact de la sonde « Ebb » (GRAIL A) avant et après l'événement (NASA/GSFC/ASU)



ALMA

Basé sur un communiqué ESO

On pense que les plus violents sursauts de formation stellaire ont eu lieu dans l'Univers jeune, au sein de galaxies massives et brillantes. Ces galaxies convertissent de vastes réservoirs de gaz et de poussières cosmiques en nouvelles étoiles à un rythme effréné – plusieurs centaines de fois plus rapidement que les imposantes galaxies spirales semblables à notre propre galaxie, la Voie lactée. En scrutant les confins de l'espace peuplés de galaxies si distantes que leur lumière a mis plusieurs milliards d'années à nous parvenir, les astronomes peuvent observer cette période active de l'Univers jeune. Plus une galaxie est éloignée, plus l'époque que nous scrutons est reculée, de sorte qu'en mesurant leurs distances nous pouvons reconstituer la chronologie de l'intensité avec laquelle l'Univers a créé de nouvelles étoiles durant toute son histoire, longue de 13,8 milliards d'années,

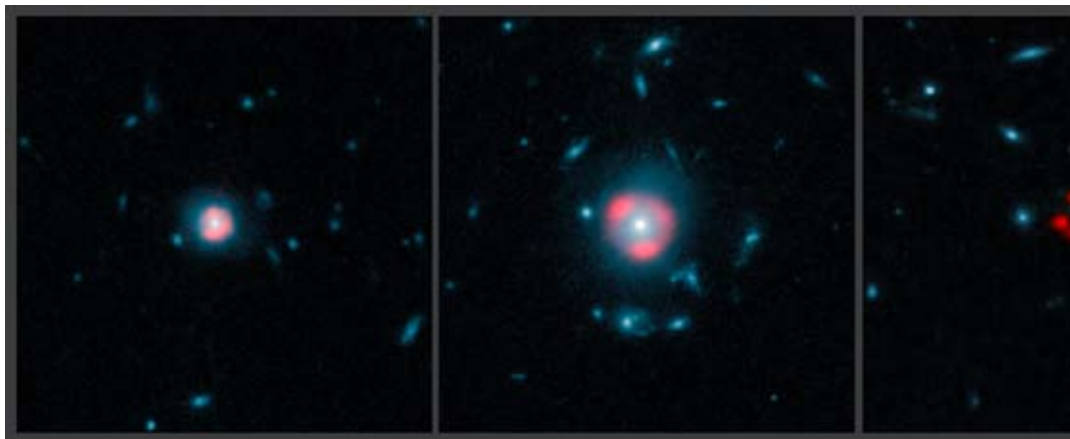
Dans un premier temps, les astronomes ont recensé ces galaxies lointaines au moyen du Télescope du Pôle Sud (SPT) de 10 mètres de la Fondation Nationale pour la Science des États-Unis, puis ils ont utilisé le réseau ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) afin d'explorer dans les moindres détails le baby boom stellaire de l'Univers jeune. Ils ont été surpris de constater que nombre

de ces galaxies distantes et poussiéreuses se situent bien plus loin que prévu. Cela implique que les sursauts de formation d'étoiles se sont produits il y a 12 milliards d'années environ, alors que l'Univers était âgé de moins de 2 milliards d'années – soit 1 milliard d'années plus tôt que ce qui était couramment admis.

Deux de ces galaxies sont les plus distantes jamais observées de leur catégorie – si distantes que leur lumière a été émise lorsque l'Univers était âgé d'un milliard d'années seulement. Qui plus est, l'eau figure parmi les molécules détectées. Il s'agit à ce jour de l'observation la plus éloignée de l'eau.

La sensibilité inégalée d'ALMA a permis de capturer la lumière en provenance de 26 de ces galaxies à des longueurs d'onde voisines de trois millimètres. Le décalage des longueurs d'onde par l'expansion de l'Univers au fil des milliards d'années nécessaires permet aux astronomes de déterminer la durée du trajet effectué par la lumière et de situer chaque galaxie dans la chronologie de l'Univers. ALMA peut effectuer ces mesures sur chaque galaxie en quelques minutes seulement – c'est environ cent fois plus rapide qu'auparavant lorsque de telles investigations auraient nécessité un laborieux travail de recoupement de données en provenance de télescopes fonctionnant dans les domaines visible et radio.

Dans la majorité des cas, les seules observations d'ALMA auraient permis de déter-



miner les distances avec précision, mais pour une poignée de galaxies l'équipe a combiné les données d'ALMA avec des mesures effectuées au moyen d'autres télescopes, parmi lesquels le radiotélescope APEX (Atacama Pathfinder Experiment) et le VLT (Very Large Telescope) de l'ESO.

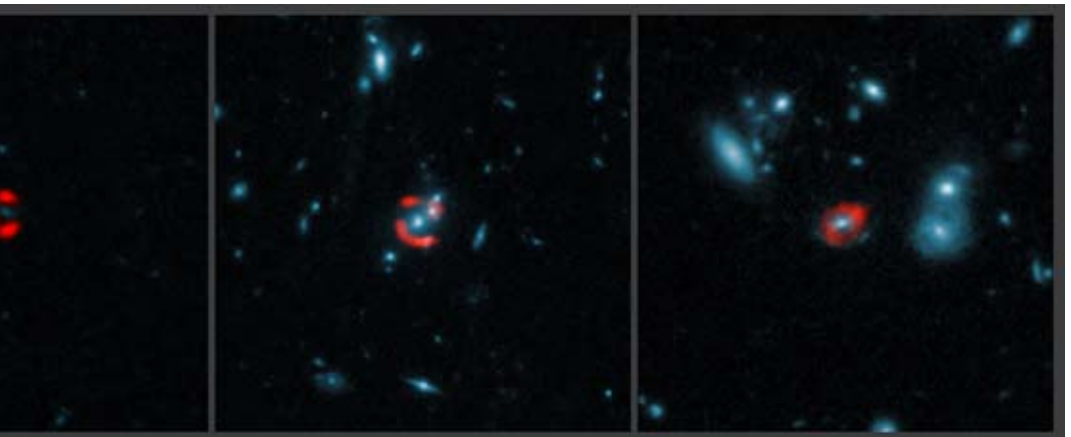
Les astronomes n'ont utilisé qu'une partie du réseau d'antennes ALMA (16 des 66 antennes géantes qui le constituent au total), l'observatoire étant encore en phase de construction sur le haut plateau de Chajnantor dans les Andes chiliennes, à 5 000 mètres d'altitude. Lorsqu'il sera complet, le réseau ALMA sera plus sensible encore et capable de détecter des galaxies encore plus faibles. À ce jour, les astronomes ont visé les plus brillantes et ils ont également bénéficié d'une aide précieuse de la nature : l'effet de lentille gravitationnelle. Prédit par Einstein dans sa théorie de la relativité générale, l'effet se manifeste par la distorsion de la lumière émise par une galaxie distante lors de son passage à proximité d'une galaxie située sur la ligne de visée. La source lointaine peut ainsi paraître déformée et plus brillante.

Afin de comprendre et évaluer le gain en luminosité que génère cet effet de lentille gravitationnelle, les astronomes ont pris des images plus nettes de ces galaxies en utilisant d'autres observations d'ALMA à des longueurs d'onde voisines de 0,9 millimètre.

Ces splendides images d'ALMA montrent les galaxies d'arrière-plan sous l'aspect de multiples arcs de lumière connus sous l'appellation d'anneaux d'Einstein qui encerclent les galaxies d'avant plan.

L'analyse de la distorsion révèle que certaines des galaxies distantes dans lesquelles naissent les étoiles sont aussi brillantes que 40 millions de millions de Soleils et que l'effet de lentille gravitationnelle a amplifié près de 22 fois leur luminosité réelle. Seule une poignée de galaxies amplifiées par cet effet de lentille gravitationnelle avaient été découvertes auparavant à ces longueurs d'onde submillimétriques. Jusqu'à présent, ce type de recherche a été principalement effectué dans le domaine visible à l'aide du Télescope Spatial Hubble, mais les nouveaux résultats montrent qu'ALMA constitue un outil très puissant dans ce domaine.

Ce montage combine des données d'ALMA avec des images du Télescope Spatial Hubble du consortium NASA/ESA de cinq galaxies distantes. Les images d'ALMA, en rouge, montrent les galaxies d'arrière-plan distantes, déformées par l'effet de lentille gravitationnelle produit par les galaxies d'avant-plan, de couleur bleue dans les archives d'Hubble. Les galaxies d'arrière-plan apparaissent sous la forme d'anneaux de lumière ou anneaux d'Einstein, qui encerclent les galaxies d'avant-plan. (ALMA ESO/NRAO/NAOJ, J. Vieira et al).



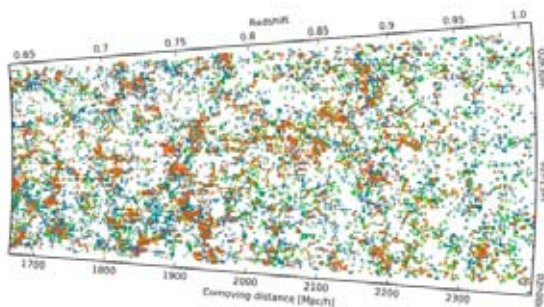
VIPERS

Basé sur un communiqué CNRS/INSU

Le plus grand programme de cartographie de l'Univers en 3 dimensions utilisant les télescopes de l'ESO vient d'atteindre la moitié de son objectif, et présente d'ores et déjà la carte la plus détaillée jamais produite. Les distances de 55 000 galaxies ont été mesurées avec l'instrument VIMOS du VLT de l'ESO dans le cadre du grand relevé VIPERS. Cela a permis de produire une vue remarquable de la distribution à 3 dimensions des galaxies alors que l'Univers n'avait que la moitié de son âge actuel, environ 7 milliards d'années, révélant les détails de la toile cosmique, la structure à grande échelle de l'Univers.

Ces observations permettent de tester les théories de formation et d'évolution de l'Univers, à la recherche des propriétés de la mystérieuse énergie noire qui en accélère l'expansion. Cartographier les grandes struc-

Une des cartes du sondage VIPERS montrant la distribution de 30 000 galaxies dans l'Univers alors qu'il avait 6 milliards d'années. Ces mesures ont été réalisées avec l'instrument VIMOS sur le VLT de l'ESO. Les galaxies sont distribuées sur la toile cosmique constituée de filaments, de groupes et de régions plus denses espacées par des régions quasiment vides. (VIPERS Team)



tures en fonction du temps, permet aussi de vérifier si la théorie de la Relativité Générale d'Einstein est valide à ces grandes échelles, ou s'il est nécessaire de la modifier.

La carte produite par VIPERS correspond à une époque où l'on pense que l'Univers se soumettait à la domination de l'énergie noire.

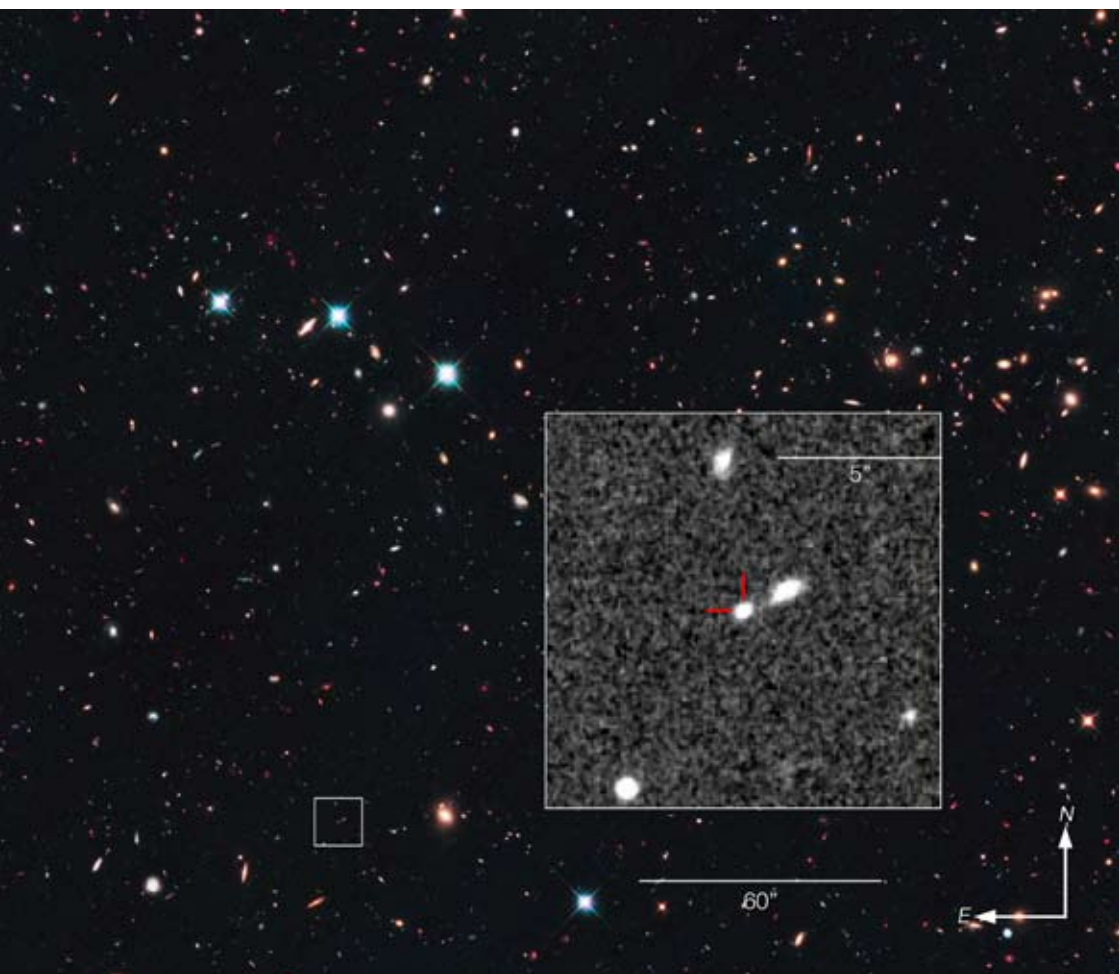
Parmi les résultats intéressants de ce sondage on notera la première mesure du taux de croissance des structures au redshift de 1 – mesure montrant un accord avec la Relativité Générale – et un recensement précis du nombre de galaxies massives à cette époque.

Supernova lointaine

Le télescope spatial Hubble a découvert la supernova de type Ia la plus lointaine, SN UDS10Wil. Son redshift de 1,914 correspond à un temps de plus de dix milliards d'années.

Les supernovæ de type Ia sont très appréciées des astronomes car elles leur permettent de mesurer les distances les plus grandes dans l'Univers. Elles ont permis de mettre en évidence l'accélération de l'expansion cosmique et, de là, l'existence d'une « énergie noire ». Plus on va loin, et plus on peut affiner cette connaissance. On comprend donc l'intérêt de cette nouvelle championne de distance.

L'un des débats entourant les supernovæ Ia est la nature du mécanisme qui les déclenche. Deux scénarios sont en compétition qui invoquent soit une ou deux naines blanches. La découverte de cette supernova lointaine favorise cette dernière hypothèse, la fusion explosive de deux étoiles.



La découverte rentre dans le cadre d'un programme de trois ans mené avec le télescope spatial Hubble, le « CANDELS+CLASH Supernova Project ». Le but de ce projet est de recenser les supernovæ Ia lointaines pour voir si leur comportement a changé au cours des 13,8 milliards d'années de l'Univers.

Jusqu'à présent, CANDELS+CLASH a révélé plus de cent supernovæ de tous types, ayant explosé il y a entre 2,4 et plus de 10 milliards d'années. Parmi elles se trouvent 8 supernovæ Ia datant de plus de 9 milliards d'années. Le nouveau record bat le précédent

*Image prise par le télescope spatial Hubble du champ de la supernova SN UDS10W.
(© NASA, ESA, Z. Levay, STScI)*

de 4% seulement, ce qui représente malgré tout 350 millions d'années, une durée comparable à celle qui nous sépare du Dévonien.

La technique de recherche consistait à prendre des images dans le proche infrarouge à des intervalles de 50 jours durant les 3 ans du projet. Après la découverte de SN UDS10W, des spectres ont été obtenus avec la Wide Field Camera 3 du HST ainsi qu'avec le VLT de l'ESO, pour en vérifier la nature.

Les premiers résultats de CANDELS+ CLASH indiquent un déclin prononcé du taux d'explosion des Ia il y a entre 7,5 et plus de 10 milliards d'années. Cela, combiné avec l'existence de supernovæ aussi anciennes que SN UDS10Wil suggère que ces phénomènes sont le résultat de la fusion de naines blanches.

Le scénario qui n'invoque qu'une seule naine blanche conduit à attendre un nombre relativement élevé de Ia dans les premiers temps de l'Univers. Ces étoiles se nourriraient de la matière provenant d'une compagne proche, normale ; après avoir accréé une quantité critique, l'étoile explose. Dans ce scénario, beaucoup d'étoiles atteindraient ce seuil critique très tôt.

La connaissance du mécanisme conduisant aux supernovæ Ia permet de prévoir à quelle vitesse l'Univers s'est enrichi en éléments lourds tels que le fer. Ces supernovæ produisent en effet la moitié du fer de l'Univers, un matériau essentiel pour la formation des planètes.

Supernovæ Ia

Les observations par Johannes Kepler de la supernova de 1604 avaient permis de la classer dans le type Ia. Des données recueillies par le télescope spatial X Chandra montrent qu'elle a été provoquée par l'interaction entre une naine blanche et une géante rouge, et non par la fusion de deux naines blanches, scénario privilégié par les astronomes pour ce type de supernova. Il pourrait donc y avoir plusieurs façons de fabriquer des supernovæ Ia.

Mais la supernova de Kepler était peut-être tout simplement atypique : des observations récentes lui avaient attribué une énergie exceptionnelle.

Les restes de la supernova de Kepler qui explosa en 1604. Les couleurs rouge, vert et bleu, montrent les images en rayons X d'énergie croissante et sont dues au télescope spatial Chandra. On y a superposé le champ d'étoiles provenant du DDS (Digitized Sky Survey) dans le proche infrarouge. (© X : NASA/CXC/NCSU/M.Burkey et al. Infrarouge : NASA/JPL-Caltech)

